بينما تمنح الجاذبية الكتلة الموجودة فوق هذا الغاز وزنا يعمل ضد قوى الضغط أى يدفع بمادة النجم ناحية المركز. وعلى ذلك فإنه فى حالة التعادل لابد أن يكون الضغط فى كل مكان فى النجم بحيث يزن ما يعلوه من مادة. ولو أن الضغط تغلب فإن النجم يضطر إلى التمدد. إذا تغلبت الجاذبية فسيؤدى ذلك إلى إنكماش مادة النجم، وفى كلتا الحالتين فإن النجم يتغير بسرعة. والقوى التى درسناها هنا تؤثر إما تماما ناحية المركز أو مبتعدة عنه. يؤدى ذلك أن يصبح مثل هذا النجم كروى الشكل فى تركيبه.

يتكون الضغط المؤثر إلى الخارج من جزئين ؛ ضغط الغاز وضغط الإشعاع. ينشأ ضغط الغاز من الحركة الحرارية للجسيمات الغازية (نوى الذرات والإليكترونات)، التى تنتقل طاقة حركتها إلى الجسيمات المجاورة بالإصطدام. وبطريقة مشابهة يحدث ضغط الإشعاع أثناء «إصطدامات» الضوء ؛ فالكمات الضوئية المنفصلة لها طاقة حركة تنتقل أثناء الإمتصاص إلى الجسم الذى يمتصها. ومجموع طاقات الحركة المنقولة تؤثر كإضافة لضغط الغاز. وفى الغالب فإن ضغط الإشعاع أصغر بكثير من ضغط الغاز. فقط فى داخل النجوم كبيرة الكتلة يوجد إشعاع كبير، بحيث يضيف ضغط الإشعاع قيمة محسوسة إلى ضغط الغاز.

حالة مادة النجم : فى داخل النجوم توجد المادة فى صورة غازية وبعيدة عن التكثيف بدرجة تمكننا من إعتبارها غازا مثاليا. وهذا له ميزة كبيرة فى التفكير، إذ بذلك يمكن وصف السلوك الحرارى للمادة، أى العلاقة بين كل من درجة الحرارة والضغط والكثافة، بواسطة علاقات بسيطة جدا (معادلات الحالة). (بسبب هذا السلوك البسيط فإننا نعرف عن داخل النجوم أكثر مما نعرفه عن داخل الأرض المعقد فيزيائيا، والذى ليس بأى حال من الأحوال فى حالة غازية). مما ذكر حتى الآن يمكن على سبيل المثال تقدير الضغط فى مركز الشمس بحوالى ٦ بليون ضغط جوى ودرجة الحرارة هناك بحوالى ١٠ مليون درجة وتحت هذه الظروف فإن مادة النجم فى الحقيقة فى أشكال غازية ؛ كذلك لا يمكن تحت هذه الظروف حدوث إندماجات كيمائية. كما أن الذرات كلها متأينة، أى أن الذرات فقدت كل إليكروناتها، فكونت هذه غاز الاليكترونات.

وهناك ظروفا أعقد من ذلك تسود فى داخل الأقزام البيضاء وفى المناطق المركزية من بعض العمالقة. فهنا أيضا توجد المادة فى صورة غازية، إلا أنها كثيفة لدرجة لا يمكن معها إعتبار الاليكترونات غازا مثاليا، وإنما غازا حيويا (← معادلات الحالة). وإذا ما زادت برودة القزم الأبيض كثيرا، فإن مادة النجم تتجمد فى داخله.

ميزانية الطاقة : إن تيار الطاقة الكبير الذى يتم إشعاعه لفترة زمنية طويلة من سطح النجم لابد أن يغذيه مخزن طاقة هائل فى داخل النجم. وهذه المخازن من الطاقة هى عبارة عن فائض من كل من الطاقة النووية وطاقة الوضع (طاقة الجاذبية) والطاقة الحرارية.

وأهم هذه الأنواع من الطاقة هى الطاقة النووية. ويتم تجهيز هذه الطاقة للإشعاع عن طريق التفاعلات بين نوى الذرات، وهى العمليات التى تتكون بها نواة ثقيلة من نوى خفيفة. مثل هذه التفاعلات يمكن حدوثها فقط فى درجات حرارة بالغة الإرتفاع (على الأقل بضع ملايين الدرجات). فى هذه الحالة فقط فإن سرعة كل من شطرى التفاعل فى حركتها الحرارية تكون كافية للتغلب على الطرد الكهربى التبادلى فيما بينهما ـ قوى الذرات موجب الشحنة ـ ويزداد الطرد الكهربى بزيادة الشحنة. وكلما إزدادت الشحنة كلما إزدادت السرعة ـ وبالتالى درجة الحرارة ـ اللازمة للتفاعل. إن السرعة المتوسطة لأغلب نوى الذرات فى المنطقة المركزية من النجم صغيرة بدرجة لاتكفى للتفاعل. ويتفاعل دائما القليل

جدا من نوى الذرات ، التى تعلو سرعتها صدفة عن السرعة المتوسطة . من هنا فإن التفاعلات وبالتالى إنتاج الطاقة يحدثان ببطئ وليس على شكل إنفجارى . وتحدث التفاعلات النووية المؤثرة فى أثناء ما يسمى «بإحتراق الهيدروجين» ، الذى ينتج فى النهاية نواة هليوم من كل أربع نويات هيدروجين . وحسب درجة الحرارة فإن ذلك يحدث فى مجموعتين مختلفتين من التفاعلات : إما فى عملية بروتون ـ بروتون أو فى حلقة الكربون ـ نيتروجين ـ أكسجين . فى حالة درجة الحرارة المنخفضة فإن تفاعل البروتون ـ بروتون ينتج طاقة أكثر . وهذا التفاعل هو المسئول عن إنتاج الطاقة فى نجوم التتابع الرئيسى صغيرة الكتله (أقل من كتلة الشمس) ، والتى تقل درجة الحراره فى مركزها عن ١٥ مليون درجة . فى مقابل ذلك فإن حلقة الكربون ـ نيتروجين ـ أكسجين تغذى بالطاقة نجوم التتابع الرئيسى كبيرة الكتلة ، ذات درجات الحراره العالية عند مركزها . وتزداد كمية الطاقة المتحررة لكل ثانية ولكل جرام من المادة النجمية بشدة كبيرة مع زيادة درجة الحرارة . وفى حالة تفاعل البروتون ـ بروتون تزداد الطاقة مع الأس الخامس لدرجة الحرارة بينما فى حالة حلقة الكربون ـ نيتروجين ـ أكسجين فإنها تزداد مع الأس الخامس عشر . من هنا فإن إنتاج الطاقة يقتصر فقط على الأجزاء المجاورة مباشرة لمركز النجم ، والتى تكون فيها درجة الحرارة أعلى ما يمكن . فقط عندما ينفذ هناك كل الهيدروجين فإن إنتاج الطاقة يحدث فى قشرة حول الكره التى تم إحتراقها ، فيما يسمى بالمنبع القشرى . فى المناطق المركزية لكثير من العمالقة لا يوجد غير الهليوم . وهنا يحدث إنتاج الطاقة خلال ما يسمى «بإحتراق الهليوم» ، والذى ينشأ منه على مراحل كربون وأكسجين . تتطلب هذه التفاعلات درجات حراره حوالى ١٠٠ مليون درجة . ويتطلب إحتراق الكربون أو الأكسجين (تفاعلات بين نوى الكربون أو نوى الأكسجين) درجات حرارة أعلى من ذلك ويبدأ حدوث هذه العمليات فى النجوم التى تطورت إلى حد بعيد (قارن أيضا ← إنتاج الطاقة فى النجوم) .

تتحرر طاقة الجاذبية خلال إنكماش مادة النجم . ولهذه الطاقة دورا فى ميزنية النجم قبل مرحلة إحتراق الهيدروجين وفى المراحل البينيه فى التطور بين إنهاء إحتراق وبداية الاحتراق التالى .

وعندما يبرد داخل النجم يقل المخزون من الطاقة الحرارية ، حيث يتحول هذا المخزون إلى إشعاع ينبعث من سطح النجم . بهذه الطريقة تغطى الأقزام البيضاء ، التى لها فقط قوة إشعاعية بسيطة ، ما تفقده من طاقة لوقت طويل نسبيا ، أى من الطاقة الحرارية . .

إنتقال الطاقة : تأخذ الطاقة التى تنتج بالقرب من مركز النجم طريقها إلى الخارج بفعل أى من الإشعاع أو الحمل أو التوصيل . وعلى أى حال فإنه تسرى طاقة من المناطق الساخنة إلى الباردة ، أى فى النجم من الداخل إلى الخارج (بغض النظر عن بعض الحالات العرضيه) . ومركز النجم له أكبر درجة حرارة (غالبا عدة ملايين الدرجات) بينما سطح النجم له أقل درجة حرارة (بضع ١٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ درجة) . .

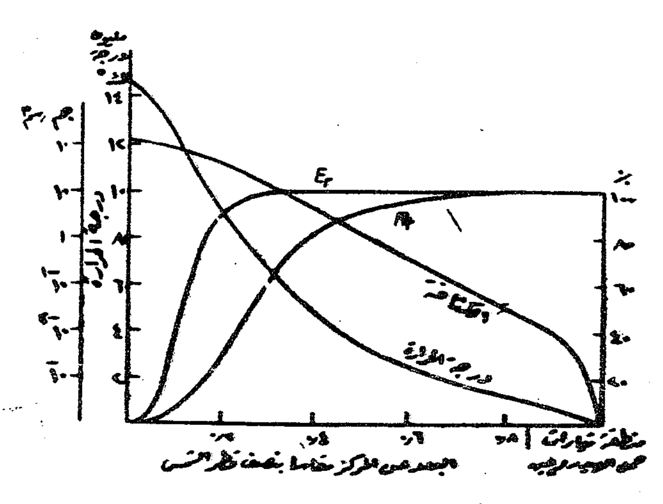
يتم إنتقال الطاقة بالإشعاع أو الانتقال الإشعاعى لأن المناطق الأسخن تبعث بإشعاع أكثر من المناطق الأبرد . فإذا ما تأملنا منطقتين متجاورتين فى النجم توجد إحداهما ناحية الخارج أى أنها أبرد من الأخرى ، لوجدنا إن كلا المنطقتين تتبادلان الطاقة ، إلا أن المنطقة الأسخن (الداخلية) تبعث بإشعاع أكثر إلى المنطقة الأبرد (الخارجية) عن العكس . بذلك يبقى هناك فائضا من الطاقة الإشعاعية عند المناطق الأبرد المجاورة وبالتالى التى توجد إلى الخارج . وبالنسبة لنقص معين فى درجة الحرارة لكل سم فى المسافة فإن قيمة التيار الإشعاعى تعتمد على شفافية الماده . فكلمت كانت المادة أكثر شفافية ، كلما إزدادت المسافة وبالتالى الإختلاف فى درجة الحرارة

بين نقطتين ينتقل بينهما الإشعاع . وبزيادة الإختلاف فى درجة الحرارة يزداد أيضا تيار الإشعاع الصافى من النقطة الساخنة إلى الباردة . وتؤدى عدم شفافية مادة النجم إلى امتصاص الإشعاع (من عمليات الإمتصاص المؤثرة الإنتقالات الإليكترونية من مستوى طاقة مقيد إلى آخر طليق والانتقالات من مستوى طاقة حر إلى آخر حر وكذلك التشتت على الإليـكترونات الطليقـة ، تركيب الذرة ، ⟵ الطيف) . إن الكم الضوئى الذى ينتج خلال التفاعل النووى فى مركز النجم لا يمكنه أن ينفذ بدون إضطرابات من سطح النجم . ويتم إمتصاص ثانية بعد مسافة قصيرة ؛ على أن يتم إشعاع كم ضوئى آخر يتقدم إلى الامام بعض الشىء وهكذا . إن عدم شفافية مادة النجم الكبير ، بحيث أن الإشعاع يمكنه فقط السير بضع ستيمترات ، حتى الإمتصاص التالى . وفى مثل هذه المسافة القصيرة فى داخل النجم تنخفض درجة الحرارة بحوالى ٠٫٠٠٠١ درجة .

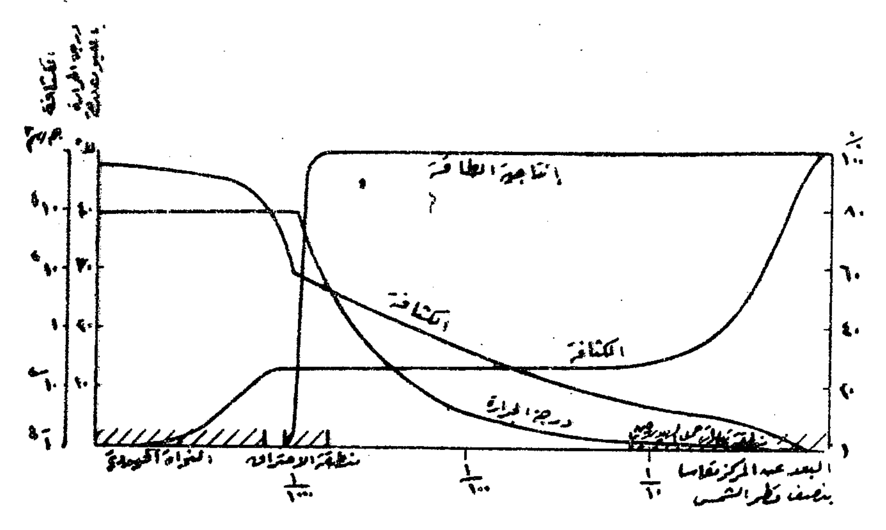
وخلال تيارات الحمل تعمل المادة ذاتها كناقلات للطاقات . فتطفو الكرات المادية الساخنة من أسفل إلى المناطق الباردة وتختلط بما يجاورها معطية إياها فائضها الحرارى ؛ فى حينتغوص مادة أبرد فتسخن فى المناطق السفلى . يحدث الحمل عند وجود إختلاف كبير فى درجة الحرارة داخل النجم . فى هذه الحالة تبقى الكرات المادية فى أثناء صعودها أسخن وأخف مما يحيط بها ، فتأخذ بذلك دائما قوة دافعة . وفى المناطق السفلى من داخل النجم ، والتى تكون فيها كثافة الكرات الغازية عالية ، يمكن أن تنتقل كل الطاقة بطريق الحمل . والحال غير ذلك فى المناطق الأقل كثيرا فى كثافتها بالقرب من سطح النجم . ففى هذه المناطق لابد أن يحدث إنتقال خلال الإشعاع بعد قصور الحمل . ومن الأهمية بمكان بالنسبة لتطور النجوم أن تكون منطقة تيارات الحمل ممزوجة جيدا خلال التيارات المادية الإضطرابية .

يمكن أن يحدث إنتقال الطاقة أيضا بواسطة التوصيل الحرارى . وفى ذلك تنتقل طاقة من الذرات الأسرع (من المناطق الأسخن) إلى الذرات الأبطىء (فى المناطق الأبرد) وذلك خلال الإصطدامات . ولا يلعب هذا التوصيل الحرارى أى دور فى النجومالعادية بالمقارنة بكل من الإشعاع والحمل . وكفاءة التوصيل الحرارى للنجوم ليست عالية بدرجة كافية ، إلا أن الظروف تتغير تماما بعد حيود غاز الإليكترونات فى داخل النجم . فبعد ذلك يصبح غاز الإليكترونات موصل حرارى جيد ، حيث يصبح الإنتقال الإشعاعى جزءا صغيرا يمكن تجاهله بجانب التوصيل الحرارى . ويمكن أن يكون التوصيل الحرارى جيدا حتى أن إختلافا بسيطا فى درجة الحرارة يكفى لإنتقال كل الطاقة . وتسود عموما فى الأجزاء المختلفة من النجم أنواع مختلفة من إنتقال الطاقة فعلى سبيل المثال يمكن أن يكون هناك توصيل حرارى فى المناطق المركزية ثم يتبع ذلك منطقة بينية يسود فيها الإنتقال الإشعاعى وأخيرا تيارات حمل فى المناطق الخارجية .

حساب النماذج النجومية : يمكن وضع ما وصفنا من عمليات فيزيائية فى معادلات وعلاقات رياضية . فإذا ما أردنا الحصول على معلومات عن تركيب داخل النجم ، فـإنـه يـلـزمـنـا حـل هـذه المعادلات لـكـل



(١) توزيع كلا من درجة الحرارة والكثافة فى الشمس مع الكتلة النسبية داخل كرة نصف قطرها r ، وكذلك النسبة المئوية لإنتاج الطاقة التى يشعها النجم بعد تحررها داخل نفس نصف القطر .



(٢) توزيع كلا من درجة الحرارة والكثافة والكتلة، M_r وإنتاج الطاقة (الأحداثى الأيمن) داخل نجم عملاق كتلته ١ر٣ مثل كتلة الشمس (نموذج المنبع القشرى) . وتدل M_r على نسبة كتلة المادة داخل نصف القطر r إلى الكتلة الكلية M للنجم بينما E_r هو الجزء من الطاقة التى يشعها النجم بعد تولدها داخل داخل نصف القطر .

نقطة النجم من مركزه إلى سطحه . ولابد فى ذلك من أن يحقق الحل شروطا إضافية : ففى مركز النجم تقريبا لا يجب أن تكون كثافة المادة صفرا أو غير نهائية وكذلك عند سطح النجم لابد أن تتصل بالحل قيم الغلاف الجوى النجمى بصورة ملساء . ومن دراسة المعادلات يتضح أن حلها ـ وبالتالى التركيب الداخلى للنجم ـ يمكن معرفته إذا علمنا كل من كتلة النجم وتركيبه الكيماوى . ولما كانت أبعاد النجم المرصودة تعتمد أيضا على تركيبه الداخلى فإنها أيضا تعتمد بالتالى على كتلة النجم والتركيب الكيماوى لمادته . ويتطلب البحث عن مثل هذا الحل كثيرا من الحسابات المنفصلة . وتستعمل فى هذا الشأن الحاسبات الإليكترونية . ويجرى البحث عن الحل بالنسبة لنقطة زمنية محددة فى تطور النجم ، أى بالنسبة لكتلة وتركيب كيماوى محددين لمادة النجم (وعند الضرورة أيضا بالنسبة لتوزيع سابق ما فى درجة الحرارة والكثافة) . تسمى نتائج مثل هذه الحسابات بنموذج النجم عند النقطة الزمنية المحددة . وبالنسبة لوقت لاحق فإننا نحتاج معلومات أخرى ،

وعلى سبيل المثال تركيب كيماوى آخر ينتج منه بالحساب نموذج نجمى آخر . وقبل وجود الحاسبات السريعة أمكن حساب النماذج النجومية فقط بالنسبة للظروف الفيزيائية المبسطة جدا . وأفترض على سبيل المثال أن إنتاج الطاقة فى نجوم التتابع الرئيسى يحدث فقط فى المركز تماما ، وما ينتج عن ذلك من نتائج يعرف بنموذج «المنبع النقطى» : وهناك تبسيطا أقوى (إفتراضات عن الإمتصاص وإنتاج الطاقة) أدت إلى «النموذج القياسى» .

إختبار النظرية :

إن كل ما نعرفه عن داخل النجوم حصلنا عليه من التفكير النظرى والحسابات . من هنا يلزم البحث عن مقارنة غير مباشرة بالأرصاد حتى نختبر بها النظرية . (يجب على سبيل المثال إختبار ما إذا كانت هناك عمليات فيزيائية هامة تم إغفالها أو ما إذا كنا قد إستعملنا قيما صحيحة للتفاعلات النووية وأشياء أخرى) . ترتكز أهم طرق الإختبار على أن كل حساب لنموذج نجمى ينتج عنه قيما نظرية لأبعاد سطح

النجم (التي يمكن رصدها) ، من قوة إشعاعية ، ونصف قطر ، ودرجة حرارة فعاله . هذه القيم النظرية يمكن مقارنتها بالقوى الإشعاعية أو أنصاف الأقطار المرصوده (أنظر بعده) . وهناك طريقة أخرى للإختبار تستغل دوران خط الأوج والحضيض في المزدوجات النجومية . فمثل هذه النجوم تدور فقط في مدارات بيضاوية ثابته حول بعضها عندما تكون الكتلة فيها مركزه بدرجة كبيرة ناحية مركز النجم ، وإلا فإن خط الأوج والحضيض ، أي المحور الأكبر للمدار ، يصبح له دوران بطئ تعتمد سرعته على التوزيع الدقيق للكتله في داخل النجم . وقياس سرعة الدوران يعطينا صورة عن توزيع الكتلة في النجم نستطيع عن طريقها إختبار التوزيع المحسوب للكتلة . ونستطيع بطريقة حديثة جدا إلقاء نظرة على المنطقة المركزية للشمس . وتعتمد هذه الطريقة على إستقبال بعض النيوترينوز الناتجة هناك من التفاعلات النووية (← إنتاج طاقة النجوم) ودراستها بالنسبة لشيوعها وطاقتها . (والنيوترينوز لها مقطع فعال صغير للغاية بحيث يمكنها أن تنفذ خلال كل الشمس بدون عائق وتصل إلى الأرض) . من ذلك نحصل على مفاتيح التفاعلات النووية التي تنتج بها النيوترينوز في داخل الشمس وبالتالي لما يسود هناك من ظروف الضغط ودرجة الحرارة . وبصورة مختصرة يمكن القول بأن كل هذه المقارنات لم تعطي أية تناقضات بين الأرصاد ونظرية تركيب النجوم .

النماذج النجومية في شكل هرتز سبرنج ـ رسل (HRD) : كما نوهنا فإن حساب نموذج نجمي يعطي أيضا قيما بالنسبة لقوة الإشعاع L ونصف القطر R ودرجة الحرارة الفعالة T_e للنجم قيد الفحص . وحتى يمكننا المقارنة بطريقة واضحة فإننا نرسم القيم المحسوبة L ، T_e في HRD ، على أن نمثل كل نموذج بنقطه . (في كل الأبحاث النظرية يتم إتخاذ درجة الحرارة كإحداثي أفقي في HRD بدلا من النوع الطيفي على أن تزداد هذه إلى اليسار) . وتعطي النماذج المتعاقبة زمنيا لنجم ما طريق تطور كامل (← تطور النجوم) . ونصف هنا فقط إثنين من الأشكال الناتجة من حساب النماذج والمناسبين لشكل HRD ، التابع الرئيسي وخط ـ هاياشي .

(أ) التابع الرئيسي : تنتج النماذج البسيطة جدا من النجوم المتجانسة ، أي النجوم التي لها في كل مكان نفس التركيب الكيماوي (نسبة الهيدروجين ٦٠ ـ ٧٠٪) ومن بداية إحتراق الهيدروجين في المناطق المركزية للنجم . فإذا ما حسبنا هذه النماذج لقيم كثيره من كتل النجوم M فإن كل من القوة الإشعاعية L ونصف القطر R للنموذج يتغيران بطريقة مميزة مع تغيير الكتلة ، علاقة نظرية بين الكتلة وقوة الإشعاع وكذلك علاقة نظرية بين الكتلة ونصف القطر . في هذا الشأن تتناسب L مع M^{3} و R مع $M^{0.6}$. وهاتان العلاقتان تتفقان جيدا مع نتائج الأرصاد من علاقة R مع M و L مع M . ولما كان كل من L ، R ، Te يرتبط بطريقة بسيطة (L تزداد مثل R^2 ومثل T_e^4 ← درجة الحرارة) ، فإنه ينتج من العلاقات المذكورة أيضا علاقة بسيطة بين البعدين L ، Te في HRD كل النماذج مختلفة الكتلة في HRD تقع على خط بسيط يمتد عبر التابع الرئيسي المرصود . ومن البديهي أن نجوم التابع الرئيسي المرصودة تتمثل جيدا عن طريق هذا النموذج المتجانس ذو الإحتراق الهيدروجيني المركزي .

(ب) خط هاياشي : من درسات النماذج النجومية يتبع أنه ليس من الممكن حساب نماذج معقولة لأي تركيبة اختيارية من L ، T_e ـ أي لأي نقطة إختيارية في HRD ـ ، بحيث يسود تعادل ميكانيكي . (ومعقول معناها هنا : أن القيم المركزية معقوله فيزيائيا فمثلا الكثافة في المركز غير صفرية وتتصل القيم من الخارج بطريقة ملساء مع قيم الغلاف النجمي) . مثل هذه النماذج كلا توجد في HRD فقط فوق أو إلى اليسار من خط فاصل

يسمى تبعا لمكتشفه باسم «خط ـ هاياشي» . وعلى خط هاياشي نفسه توجد النماذج ، التى تسود فيها تيارات الحمل من المركز حتى السطح . وإلى اليمين من هذا الخط يمكن فقط أن توجد نماذج ليس لها تعادل ميكانيكى ، أى التى تتغير فى فترات زمنية قصيرة (على سبيل المثال أياما إلى شهور) . وفى الحقيقة فإنه لم يتم رصد أى نجم موجود بالتأكيد إلى اليمين من خط هاياشي . يمر هذا الخط فى HRD تقريبا (وليس تماما) عموديا بين درجة حرارة فعالة من حوالى ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ درجة . ويتزاح وضعه المضبوط بعض الشئ ناحية اليسار بزيادة كتلة النجم . ويعتمد أيضا على سبيل المثال على التركيب الكيماوى للطبقات الخارجية .

بعض النماذج النجومية : يمكن توضيح التركيب الداخلى للنجوم أى مسار كل من درجة الحرارة والضغط والكثافة فى نجم ما بواسطة الرسم .

نجوم التتابع الرئيسى المتجانسة : إن مسار الكثافة ودرجة الحرارة .. إلخ متماثل لكل هذه النماذج النجومية ، وإن كان هناك تغييرات مميزه بالنسبة للكتل المختلفة . ففى النجوم كبيرة الكتلة (أكبر من كتلة الشمس) يتم إنتاج الطاقة أساسا بواسطة حلقة الكربون ـ نيتروجين . وبسبب الإعتماد الكبير على درجة الحرارة فإن منابع الطاقة تتركز بشدة ناحية المركز ، الشئ الذى يؤدى إلى تيارات طاقة عالية فى مناطق صغيرة حول المركز بحيث يسود فى المنطقة المركزية تيارات الحمل . وتحتوى مناطق تيارات الحمل هذه من ١٠ إلى ٢٠٪ من كتلة النجم أما ناحية الخارج ، حتى سطح النجم . وفى النجوم ذات الكتل الكبيرة ، يكون إنتقال الطاقة عن طريق الإشعاع . وكلما إزدادت كتلة النجم كلما إرتفعت درجة حرارته المركزية . وعلى النقيض من ذلك فإن الكثافة تقل فى المركز مع زيادة كتلة النجم . فى نجوم التتابع الرئيسى صغيرة الكتلة (أقل من كتلة الشمس) ، والتى لها درجة حرارة مركزية منخفضة نسبيا ، يغلب إنتاج الطاقة عن طريق تفاعل البروتون ـ بروتون ، الذى تعتمد إنتاجيته على درجة الحرارة بدرجة أقل من حلقة الكربون ـ نيتروجين .

ومن هنا فإن منابع الطاقة ليست مركزه بدرجة كبيرة ناحية المركز مثل النجوم ذات الكتل الكبيرة . وفى المنطقة المركزية من نجوم التتابع الرئيسى صغيرة الكتلة يكفى الإنتقال الإشعاعى . وعلى النقيض من ذلك فإن للنجوم صغيرة الكتلة نطاق خارجى تسوده تيارات الحمل ويزداد عمقه إلى الداخل كلما نقصت كتلة النجم . وبنقص كتلة النجم تزداد دائما الطبقات الخارجية بروده (ويتواجد النجم إلى اليمين من HRD) وتدخل عمليات إمتصاص أكثر فاعلية تعمل على فرملة الإشعاع .

ويختلف الحال عن ذلك تماما فى نماذج التركيب الداخلى للنجوم غير المتجانسة . ومما يثير الإهتمام تلك النجوم ، التى لم يعد يوجد بها هيدروجين فى منطقة مركزها ، وإنما هليوم فقط ويوجد الهيدروجين فقط فى الطبقات الخارجية . تمثل هذه النجوم مراحل متأخرة فى حالة تطور النجوم التى كانت أصلا متجانسة . كل هذه النماذج لها أنصاف أقطار كبيرة ، وهى تمثل بذلك العمالقة من النجوم . فى شكل ٢ يوجد بالإضافة إلى مسار كل من درجة الحرارة والكثافة أيضا النسبة المئوية لما ينبعث من النجم من طاقة E_r ، والتى تنشأ فى كره نصف قطرها r ، وكذلك النسبة المئوية M_r للكتلة الموجودة فى نفس الكرة . تبلغ كتلة هذا النجم العملاق ١.٣ قدر كتلة الشمس ، وهو يمثل بذلك تقريبا العمالقة الحمراء من النجوم فى الحشود الكروية الأصلية . يتضح من الشكل أن النجم له نواه متساوية فى درجة حرارتها ، أى منطقة مركزية لها نفس درجة الحرارة . وهذه النواة تحتوى على هليوم فقط ، ففيه درجة الحرارة أعلى بكثير عن نجوم التتابع الرئيسى ذات نفس الكتلة ، إلا أنها ليست عالية بدرجة تكفى لاحتراق

الهليوم ، وبالتالى لايحدث هناك إنتاج طاقة . تحتوى النواة ، التى يبلغ إمتدادها ٠٠١ من كل النجم ، حوالى ٢٥ من كتلة النجم الكلية . وبذلك فإن الكثافة عالية جدا وتكاد تبلغ مليون جم / سم٣ فى المركز . فى هذه الكثافة يكون غاز الاليكترونات حيوديا . ويتصل بالنواة ناحية الخارج قشرة لا يزال يوجد بها هيدروجين . وفى قشرة كروية حول هذه المنطقة يوجد احتراق الهيدروجين الذى ينتج قوة النجم الإشعاعية . ومايتحرر من هذا المنبع الإشعاعى يتم إنتقاله أولا بالإشعاع إلى الأجزاء الخارجية ثم بالحمل .

وعن أنواع أخرى من النماذج النجومية وخصوصا عن تغييرها الزمنى ← تطور النجوم .

إستقرار النجوم : يتم حساب النماذج النجومية تحت إفتراض ظروف تعادل معينة . ويبقى السؤال عن سلوك هذا التعادل فى حالة وجود إضطراب صغير . ومثل هذا الإضطراب موجود بالتأكيد فى النجم الحقيقى . فعلى سبيل المثال يمكن بطريق الصدفة فى أى مكان فى منطقة تيارات حمل وجود كرات غازية كبيرة وساخنة ، تنطلق بسرعة كبيرة على وجه الخصوص إلى الخارج ؛ ويمكن أن يؤدى هذه إلى ترنحات فى درجة الحرارة أو تفجير موجات ضغط ، كما يمكن أيضا حدوث تمدد أو إنكماش فى بعض المناطق . ويسمى النجم مستقرا عندما ينفعل بأى إضطراب بحيث يعمل على إزالته ويعود النجم إلى حالة التعادل . أما النجم غير المستقر فعلى العكس من ذلك يبتعد دائما بأى إضطراب ولو صغير عن حالة التعادل ، أى أن أى إضطراب مبدئى صغير يزداد كبرا مع الزمن . وتقتضى أبحاث الإستقرار طرقا نظرية معقدة ، وفيما يلى نورد بعض النتائج الهامة .

إن نجوم التتابع الرئيسى التى تزيد كتلتها عن ٦٠ مره قدر كتلة الشمس غير مستقرة . فى المنطقة المركزية من هذه النجوم يوجد إشعاع كبير لدرجة أن ضغط الإشعاع يكون جزء أساسيا من ضغط الغاز . وأى إضطراب صغير مثل تغيير صغير فى نصف القطر ينمو بمرور الزمن إلى تأرجحات أكبر إلى أن يطرد النجم فى النهاية كتلا من على سطحه . ومن الأهمية بمكان معرفة كيفية إنفعال النجوم بالتأرجحات الصغيرة فى إنتاج الطاقة عند المناطق المركزية ، فكثيرا ما يعترى التفاعلات النووية التى تحدث هناك ترنحات صدفية . وقد إتضح أن النجوم مستقرة ضد هذا التأثير . وذلك إذا حدثت التفاعلات فى غاز مثالى (← معادلات الحالة) ؛ فإذا ما حدثت زيادة صغيرة فى إنتاج الطاقة ، يتمدد الغاز بعض الشئ فيبرد قليلا وتنخفض بذلك عدد التفاعلات إلى القيمة العادية . بهذا الشكل فإن معظم النجوم مستقرة بالنسبة لإنتاج الطاقة وكذلك إيضا ، ومن حسن الحظ ، الشمس . وخلافا لذلك فإن النجوم تكون غيرمستقرة بالنسبة لإنتاج الطاقة إذا حدثت التفاعلات فى مادة حيودية ؛ فى هذه الحالة لا تضيع الطاقة الزائدة خلال الشغل المبذول أثناء التمدد وإنما تتحول بدرجة أكثر إلى طاقة حرارية ، أى أن المنطقة تزداد سخونة ، الشئ الذى يعمل على زيادة الطاقة النووية ، والتى تتحول بدورها إلى طاقة حرارية وهكذا . يؤدى ذلك إلى ما يسمى بالفلاش الذى ينتج معه طاقة عالية جدا فى زمن قصير جدا .

يتضح من نماذج النجوم النابضة على غرار نجوم ← دلتا قيفاوى أن هذه النجوم غير مستقرة بالنسبة للتغيرات البسيطة فى نصف القطر . وينكمش النجم ويتمدد أى أنه يتذبذب حول وضع تعادل . فى كل من هذه التذبذبات يؤخذ بعض من الطاقة التى تصل إلى السطح وتتحول إلى طاقة ذبذبية . ومن هنا فإن الذبذبات تزداد فى قَدْرها مع الزمن إلى درجة كبيرة . وعدم الإستقرار هذا يظهر فقط عندما تكون درجة الحرارة الفعالة فى نطاق ضيق حول ٦٠٠٠ درجة .

وهناك أيضا سلسلة من عدم الإستقرار التى لا